

GPS 情報と車両振動データを用いた橋梁上振動データ抽出 AI の検証

The verification of AI extracting the data on actual bridge from vehicle vibration data for complement of GPS

高橋 悠太 (八千代エンジニアリング) 金子 直樹 (筑波大) 秦 涼太 (筑波大) 山本 亨輔 (筑波大)
Yuta TAKAHASHI, Yachiyo Engineering Co., Ltd.
Naoki KANEKO, University of Tsukuba
Ryouta SHIN, University of Tsukuba
Kyouosuke YAMAMOTO, University of Tsukuba
E-mail: yt-takahashi@yachiyo-eng.co.jp

Bridge monitoring by sensors is often high cost for middle-short span bridges. This study focus the drive-by inspection which can measure the bridge vibration without putting sensors on bridge. The vehicle vibration through over bridge should be extracted from continuous data. This study verifies whether the relative distance between GPS device on bridge and vehicle can be used for extraction of vehicle vibration through over bridge and classifies them by the deep learning model with learned their data. For first step, the vehicle vibration data going over bridge is extracted by proposal method, and their data is validated.

1. 背景

我が国は道路総延長 127 万 km, 橋梁数 70 万基を有し, 技術者減少が懸念される将来, 点検維持の負担増大が想定される. 橋梁点検では近接目視点検が基本とされてきたが, 平成 31 年 2 月に橋梁定期点検要領¹⁾が改訂されている. これによると, 近接目視点検に代わる手段として, ドローン画像などが使用可能となった. 加えて, 令和 2 年 6 月, 点検支援技術性能カタログ²⁾が更新され, いくつかの技術を近接目視と同等の情報が得られる技術として参考にできるとしている. また, 目視を前提とする規制を緩和することも閣議決定されている³⁾. カタログ記載済み対象技術に, 橋梁上に加速度センサーを設置し, 得られた橋梁応答から劣化や異常を検知する技術も含まれている⁴⁾. 振動計測であれば, ドローン画像と異なり, 常時モニタリングも可能となるが, 橋梁 1 基あたりの設置コストが高く, 長大橋を除いて導入は進んでいない. これに対し, 現在未記載の技術に, 車両に搭載した加速度センサーから車両振動を得て, 車両-橋梁間相互作用システムの運動方程式に基づいて橋梁振動を推定し, 劣化や異常を検知する車両応答分析技術が開発されている⁵⁾. 橋梁振動は直接計測せず, 間接的に推定された橋梁振動から橋梁の状態把握を目指すため, 推定精度の低下が考えられるが, センサーを個々の橋梁に設置する必要がなく, 道路面のデータも収集可能なスクリーニング技術になると期待される.

本技術を橋梁モニタリング技術とする場合, 車両振動データから, 橋梁上を走行した部分を抽出する必要がある. センサーシステムに GPS デバイスを追加し, 位置情報を付与できるが, 自動運転などでの利用を想定された高精度高周波数の RTK デバイス等はいまだ高価である. GPS の位置精度は電離層などの影響を受けるが, 相対距離については比較的精度が維持されることから, 従来精度の安価な GPS デバイスを複数利用することを考える. ただし, 正解となる位置情報は測量で決定され, 時間経過によって徐々に移り変わるものであり, 完全な位置情報は得られない点に留意する. また, 補完的な技術として, 振動データから力学的特徴量に基づいた抽出方法も考えられる⁶⁾. なお, この方法は LSTM (Long-Short Term Memory:長短期記憶)⁷⁾を用いる. 車両振動データの中で, 凡そ橋梁通過中と思われる部分を取り出し, 教師を付けて学習させる. この時, LSTM は構造変化を特徴量の変化として捉えられていると

考えられ, 繰り返し学習を用いることで, GPS の位置推定誤差を補完し, 橋梁上の振動データが抽出可能であると考えられる. 本研究では, 先行研究で得られた知見を橋梁上での振動を含む車両振動データを LSTM で学習し, 橋梁上で得られた振動が分類可能か検証を行う.

2. 実験概要

実験橋梁は 4 橋(PC 橋:3 橋, 鋼橋:1 橋)を対象とした. それぞれ PC1-3,S1 とする. 車両は 7.8t に積載し, 13.8t で使用した(Table.1). 実橋梁の出入り口に, 小型の GPS センサーデバイスをそれぞれ 1 つずつ設置する. また, Fig.1 に示すように車両前輪と同様の GPS デバイスを設置する. それぞれ GPGGA 形式で緯度経度を出力し, 両者の相対緯度経度差が 10^{-14} 以下となる時, 橋梁に進入したと定義する. 取得頻度は 1Hz とする. センサー位置はバネ上下・前輪後輪・右輪左輪の組み合わせで 8 か所, それぞれ 3 軸で, 24 軸の加速度データを計測する. (Fig.1)ADC の量子分解能は 17bit, 時間分解能は 300Hz とした. 橋梁には ADC 分解能 23bit, 時間分解能 300Hz の 1 軸加速度センサーを片側 5 か所, 合計 10 か所設置して橋梁振動を計測した. 得られた橋梁振動は, 車両振動との相関性を確認し, 本手法の妥当性検証に使用する.

まず, 橋梁センサーで得られた振動データから, 同橋梁上に設置された GPS デバイスの位置情報と車両で得られた位置情報の相対距離を用いて, 橋梁上を車両が走行していたと推定される範囲を抽出する. これを橋梁上データの教師データとして, LSTM で学習を行う. 本論文では得られた加速度振動データの妥当性について整理する.

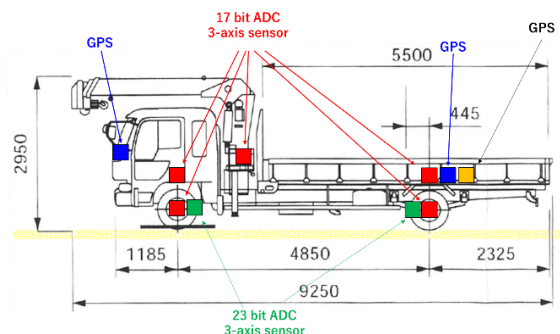


Fig.1 The position of sensor and GPS devic

Table.1 The parameter in Experiment

	PC1	PC2	PC3	S1
Span [m]	12.6	14	30.88	30
Girder Type, Number	I	T, 4	T, 4	Steel, I, 4
Vehicle Weight [t]	13.8			
Vehicle Velocity [km/h]	17.3	43.6	27.1	30.0

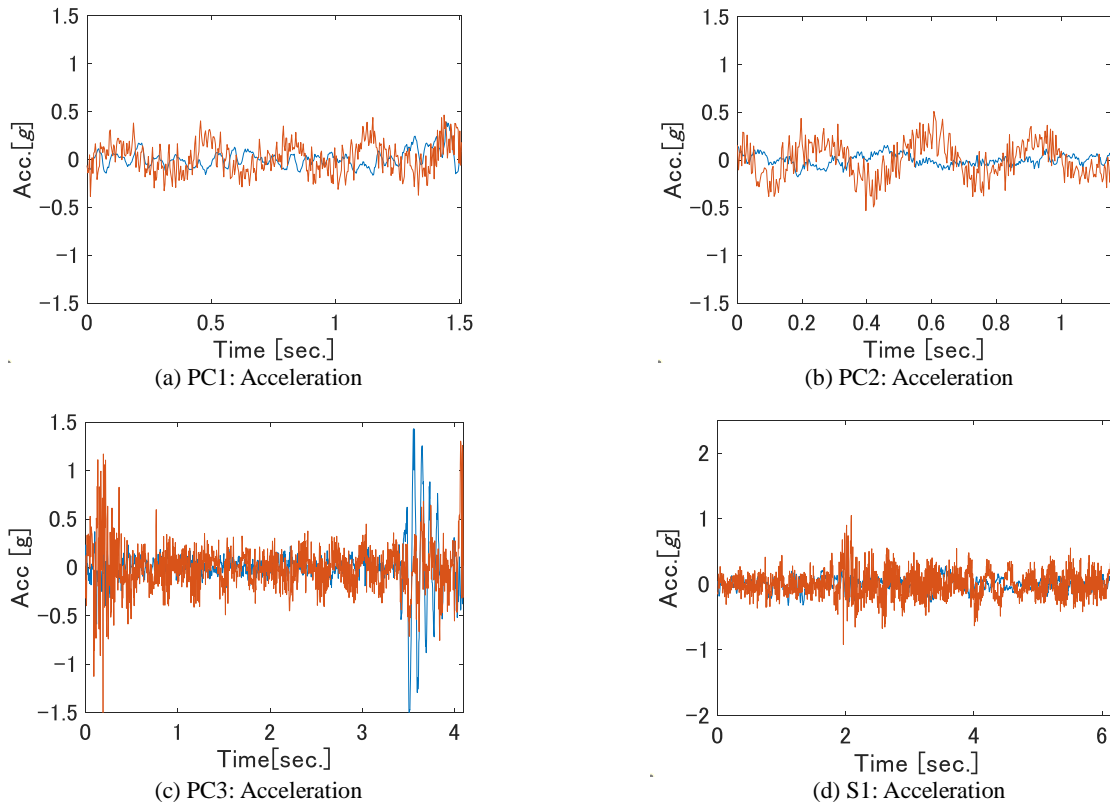


Fig.2 Acceleration on Bridge PC 1-3 and S1

3. 結果と考察

各橋梁について、橋梁上での振動データの正解値とする加速度振動の例を Fig.2 に示す. センサーデータは 17bit ADC を用いたセンサーで得られた鉛直加速度方向の値を用いる. PC2 を除いてジョイント部分が道路上にあるため、データ始端終端付近にてピークを持つ傾向がみられる. また、橋梁上に設置したセンサーから得られた Power Spectrum は、上記の加速度振動から得られた Power Spectrum と同程度の周波数にピークを持つことを確認した. これらの結果から、おおよそ橋梁上の振動データが得られていることが示唆される.

上記振動を正解クラスとし、この前後を不正解クラスとして学習を行い、結果を比較することが可能と考えられる.

4. まとめと今後の課題

AI により連続的な車両振動データから橋梁データを抽出するため、教師データを与えるため、GPS デバイスの相対距離を用いた手法を検討した. 前段階の検討として、橋梁で得られた振動から車両走行中データの抽出を試みた. 今後、得られたデータを LSTM で学習し、精度を検証する. 鉛直加速度以外のデータを使用した学習も試みる. また、複数橋梁を跨いだモデルを学習し、汎用性について整理する.

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・技術課: 橋梁定期点検要領, 2019.
- 2) 国土交通省: 点検支援技術性能カタログ, 2021.
- 3) 閣議決定: デジタル社会の実現に向けた重点計画, 2021.
https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/digital/20211224_policies_priority_package.pdf
- 4) 例えば, A. Malekjafarian, C.W. Kim, E. J. OBrien, L. J. Prendergast, P. C. Fitzgerald, S. Nakajima: Experimental Demonstration of a Mode Shape-Based Scour-Monitoring Method for Multispan Bridges with Shallow Foundations, *Journal of Bridge Engineering*, 25(8), 04020050 - 04020050, 2020
- 5) 例えば, 高橋悠太, 山本亨輔, 岡田幸彦: 空間特異モード角度を用いた比較的軽度な橋梁損傷検知の可能性検討, *構造工学論文集*, Vol. 65A, pp.283-292, 2019.
- 6) R. Murai, R. Miyamoto, K. Yamamoto and Y. Okada: Numerical Experiments of Bridge Position Estimation for On-Going Monitoring, *Proceedings of the World Congress on Engineering 2019*, pp.1-6, 2019.
- 7) F. A. Gers, J. Schmidhuber, and F. Cummins, "Learning to forget: Continual prediction with LSTM," *Neural Computation*, vol. 12, no. 10, pp. 2451-2471, 2000.